پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دورهٔ ۵۲، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۹
ص ۵۶۵- ۵۵۳

الگوهای توزیع فراوانی آب بارش‌پذیرِ ایران‌زمین در دورهٔ مطالعاتی ۱۳۸۱-۱۳۹۶

منیژه کیانی‌پور ـ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه اصفهان
سید ابوالفضل مسعودیان* ـ استاد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه اصفهان
حسین عساکره ـ استاد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای دانشگاه زنجان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۲۵

چکیده

رطوبت جو نه‌تنها یک گاز گلخانه‌ای مهم به‌شمار می‌رود، بلکه وردش‌های جهانی اقلیم و چرخهٔ آب نیـز بـه شـکل قابل توجهی تحت تأثیر این عامل قرار دارد. در این مطالعه برای بررسی الگوهای توزیع فراوانی آبِ بارش‌پـذیر در ایران از فرآوردهٔ آب بارش‌پذیر سنجندهٔ مودیس آکوا برای بازهٔ زمانی ۱۳۸۱-۱۳۹۶ استفاده شد. نتـایج حاصـل از اجرای روش تحلیل مؤلفهٔ اصلی بر روی آرایهٔ فراوانی آبِ بارش‌پذیر در گسترهٔ ایـران نشـان داد چهـار مؤلفـهٔ اول ۹۵/۵ درصد پراش کل را تبیین می‌کند. ارتباط هر یک از این مؤلفه‌ها با عامل ارتفاع و فاصله از دریـا نیـز بررسـی شد. نتایج تحلیل مؤلفه نشان داد در بخش‌های داخلی، ارتفـاع و در کرانـه‌هـا شـرایط دمـایی و فرارفـت رطوبـت بیشترین نقش را در توزیع فراوانی رطوبت جو ایران بازی می‌کنند؛ به‌طوری‌که آبِ بارش‌پذیر مناطق با ارتفاع بالاتر از ۳۰۰۰ متر کمتر از ۶ میلی‌متر و سواحل دریای عمان در ۶۰ درصد اوقات بالای ۲۶ میلی‌متر است. واکـاوی پیونـد میان ارتفاع و فاصله از دریا با مؤلفه‌های اصلی نیز تأییدی بر یافته‌های فوق بود.

واژگان کلیدی: آبِ بارش‌پذیر، ایران، تحلیل مؤلفهٔ اصلی، توزیع فراوانی، مودیس.

مقدمه

رطوبت جو نقش مهمی در بسیاری از فرایندهای اصلی جو همچون اثر گلخانه‌ای، گرمایش جهانی، دینامیک جریان‌ها و گردش‌های جوی، چرخندزایی و ترازمندی انرژی، کنش متقابل زیست‌سپهر- هواسپهر، و چرخهٔ آب‌شناختی ایفا می‌کند (کافمن و گائو، ۱۹۹۲: ۸۷۱؛ کالاهان، ۲۰۱۴: ۲) و از سوی دیگر در مطالعهٔ تغییر اقلیم ترازمندی انرژی در مقیاس جهانی و منطقه‌ای نقش مهمی دارد (لیو و همکاران، ۲۰۱۷: ۳۶۶). آگاهی از مقدار و توزیع مکانی بخار آب جو در توسعهٔ مدل‌های پیش‌بینی عددی آب‌وهوا، به‌ویژه در شرایط حدی اقلیمی، می‌تواند سودمند باشد. بنابراین، نمی‌توان اهمیت آن را نادیده گرفت (لیو و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۰۹؛ آچیم‌پانگ و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۶۳؛ لی و همکاران، ۲۰۱۶: ۸۳). توزیع زمانی و مکانی رطوبت جو (آبِ بارش‌پذیر) به دلیل تأثیرپذیری از عواملی همچون وردش‌های دما با افزایش ارتفاع، آرایش ناهمواری‌ها، دوری و نزدیکی به پهنه‌های آب، فرارفت رطوبت، تبخیر و تعرق، جهت باد، آشفتگی‌ها در مقیاس همدیدی، همرفت و رخدادهای گردوخاک هم در جهت افقی هم قائم بسیار نامنظم و نایکنواخت است (کافمن و گائو، ۱۹۹۲: ۸۸۰؛ پراساد و سینگ، ۲۰۰۹: ۱؛ کرن و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۹۴۱؛ ملموسی و بُکلاری، ۲۰۱۰: ۸؛ مغربی و الدجانی، ۲۰۱۳: ۲؛ ونگ و همکاران، ۲۰۱۵:۳۱۴۶). وردش در مقادیر رطوبت جو باعث وقوع بارش‌های فرین یا کم‌بارش و به دنبال آن افزایش احتمال سیل و خشک‌سالی شده و تغییراتی که این رخدادها در وقوع و شدت دارند می‌تواند تأثیر بزرگی

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۱۳۳۱۳۱۱۰۱
Email: s.a.masoodian@geo.ui.ac.ir

در محیط زیست و اجتماع بگذارد (ترنبرت و همکاران، ۲۰۰۵: ۷۴۲)؛ بر همین اساس، دست‌یابی به چگونگیِ توزیع بخار آب در جو و وردش‌های زمانی و مکانی آن در مقیاس‌های متوسط، خرد و جهانی، و همچنین تغییر اقلیم ضروری می‌نماید (وانگ و همکاران، ۲۰۱۳: ۶۵۶). در دهه‌های اخیر شناخت رفتار مکانی- زمانی عناصر اقلیمی از جمله آب بارش‌پذیر و تعیین الگوهای توزیع فراوانی این عناصر در کانون توجه بسیاری از اقلیم‌شناسان قرار گرفته است. با بهره‌گیری از فن تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای می‌توان الگوهای زمانی و مکانی این عناصر را در مناطق مختلف شناسایی کرد. فن‌های مزبور از روش‌های چندمتغیره در تحلیل‌های مکانی‌اند (عساکره، ۱۳۹۲: ۱۲۲) که عمدتاً برای کاهش حجم داده‌ها (یارنال، ۱۳۸۵: ۱۰۴) و شناسایی و توصیف الگوهای غالب و فصلی در وردش‌های درون‌سالانه به‌کار گرفته می‌شوند (لینز، ۱۹۹۷: ۱۶۵۵). پراکنش مکانی آب بارش‌پذیر تحت تأثیر عوامل متعددی همچون ارتفاع، فاصله از دریا، و فرارفت رطوبت است. ونگ و همکاران (۲۰۱۵: ۳۱۵۸، ۳۱۵۴، ۳۱۴۶) ارتفاع و عرض جغرافیایی را در توزیع مکانی آبِ بارش‌پذیر در چین مؤثر دانسته‌اند؛ طبق نتایج آن‌ها در بخش‌های غربی چین، که متوسط آبِ بارش‌پذیر کم است، ارتفاع عاملی غالب در وردش آبِ بارش‌پذیر به‌شمار می‌رود. در این بخش از چین، مناطقی که آبِ بارش‌پذیر بالایی دارند متوسط آبِ بارش‌پذیر حساسیت کمتری به ارتفاع نشان می‌دهد. یافته‌های بارمان و همکاران (۲۰۱۷: ۳۹۱) در شمال شرق هند نشان داد وردش سالانهٔ آبِ بارش‌پذیر ایستگاه‌هایی که ارتفاع زیاد دارند ۴۹ درصد و ایستگاه‌هایی که کم‌ارتفاع‌اند ۶۳ تا ۶۷ درصد است. ونگ و همکاران (۲۰۱۵: ۳۱۵۲) همچنین دوری و نزدیکی به دریا را از عوامل مؤثر در تفاوت‌های مکانی رطوبت جو بیان کرده‌اند؛ ازاین‌رو، در مناطق ساحلی یا جزایر عرض‌های پایین مقادیر آبِ بارش‌پذیر زیاد است و در طول سال دامنه‌ای بین ۲۵ تا ۵۵ میلی‌متر دارد؛ اما مقدار و وردش آبِ بارش‌پذیر در عرض‌های جغرافیایی بالا (شمال شرق چین) ضعیف است. مینز (۲۰۱۱: ۷۲، ۲۰۲) در پژوهش خود همبستگی آبِ بارش‌پذیر را با فاصله از دریا برای ایستگاه‌های ساحلی و درون خشکی مطالعه کرد. نتایج وی نشان داد در مناطق ساحلی میزان همبستگی بین آبِ بارش‌پذیر و فاصله از دریا، برخلاف ایستگاه‌های داخلی، به‌آرامی کاهش می‌یابد؛ به‌گونه‌ای‌که همبستگی بین این دو در فاصلهٔ ۱۰۰۰ کیلومتری از دریا به ۰/۴–۰/۳ افت می‌کند. در ایران نیز عساکره و همکاران (۱۳۹۳: ۴۳۵) به بررسی ناهنجاری‌های آبِ بارش‌پذیر در ایران پرداختند. یافته‌ها نشان داد نواحی ساحلی، به دلیل هم‌جواری با منابع عظیم رطوبتیِ خلیج‌فارس، دریای عمان، و دریای خزر، دارای ناهنجاری‌های مثبت و نواحی مرکزی، نواحی مرتفع، و شمال غرب و شمال شرق کشور به دلیل دوربودن از منابع رطوبتی و متأثربودن از ارتفاعات دارای ناهنجاری‌های منفی‌اند. ناهنجاری‌های منفی آب بارش‌پذیر با افزایش ارتفاع از سطح زمین به دلیل فاصله‌گرفتن از منابع رطوبت، همچنین کاهش دمای هوا و به‌تبع آن کاهش گنجایش رطوبتی و نیز کاهش ضخامت ستون هوا کاهش می‌یابد.

در پژوهشی دیگر عساکره و دوستکامیان (۱۳۹۳: ۷۲) به بررسی تغییرات زمانی و مکانی آبِ بارش‌پذیر در جو ایران‌زمین برای دورهٔ زمانی ۱۳۴۱ تا ۱۳۸۹ پرداختند. یافته‌ها نشان داد ضریب تغییرپذیری مکانی آبِ بارش‌پذیر در ایران بسیار زیاد و به‌شدت تحت تأثیر ارتفاعات است؛ به‌طوری‌که بیشترین ضریب تغییرات در ارتفاعات به‌ویژه در امتداد کوه‌های زاگرس و کمترین میزان تغییرپذیری مربوط به نواحی مرکزی و سواحل دریای خزر و خلیج‌فارس است. دارند (۱۳۹۴: ۲۱۳) در پژوهشی وردایی زمانی- مکانی رطوبت جوی ایران را طی بازهٔ زمانی ۱۹۷۹–۲۰۱۳ با استفاده از داده‌های ماهانهٔ شبکه‌ای نم ویژه و نم نسبی مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت وضع هوا[1] مطالعه کرد. یافته‌ها نشان

1. ECMWF: European Center for Medium range Weather Forecasting

داد اگرچه روند دو سنجهٔ رطوبتی جو در کرانه‌های ساحلی دریاهای جنوب و جنوب غرب دریای خزر مثبت است، بر روی اغلب گسترهٔ ایران‌زمین از مقدار رطوبت جوی و نم نسبی در دورهٔ مورد مطالعه کاسته شده است.

سهم ایران از بارش، به دلیل قرارگیری در کمربند خشک کرهٔ زمین، اندک و تقریباً یک‌سوم بارش میانگین کره است. از سویی، بارش در ایران یکی از متغیرهای اساسی برای ارزیابی آمادگی بالقوهٔ منابع آب است؛ اما توزیع زمانی و مکانی آن بسیار نایکنواخت است و به همین دلیل توزیع منابع آب کشور نیز یکنواخت نیست. نگهداری و مدیریت منابع آب هم تابعی از بارش دریافتی است هم به تغییرپذیری بارش بستگی دارد (مسعودیان، ۱۳۹۰: ۱۲۱). تغییرپذیری بارش در ایران، که گاه همراه بارش‌های شدید و سیل‌آسا در زمان‌های غیرمتعارف و گاه همراه خشک‌سالی است، برای کشوری مانند ایران با ویژگی‌های خاص اقلیمی بسیار بااهمیت بوده و همواره یکی از عواملی است که در مناطق مختلف جغرافیایی از نظر مالی و جانی اثرهای جبران‌ناپذیری همراه داشته و انسان و طبیعت را در سطح وسیع متأثر ساخته است (موسوی بایگی و اشرف، ۱۳۸۹: ۱۰۳۶). با توجه به کمبود منابع آب در کشور، پایش وردش‌های زمانی و مکانی آبِ بارش‌پذیر و عوامل مؤثر بر آن به دلیل تأثیر آن بر وردش‌های زمانی و مکانی بارش دارای اهمیت ویژه‌ای است. در این مطالعه سعی بر آن است الگوهای حاکم بر توزیع فراوانی آبِ بارش‌پذیر در پهنهٔ ایران‌زمین با استفاده از داده‌های سنجندهٔ مودیس آکوا بررسی شود.

داده‌ها و روش‌ها

در پژوهش حاضر داده‌های نسخهٔ شش آبِ بارش‌پذیر فروسرخ نزدیک مودیس آکوا MYD05_L2.AV06 از ۱۳۸۱/۰۴/۱۳ تا ۱۳۹۶/۰۵/۰۳ به مدت ۵۵۰۱ روز از تارنمای[1] ناسا[2] دریافت شد. خطای این داده‌ها بین ۵ تا ۱۰ درصد است (کافمن و گائو، ۱۹۹۲: ۱). در دورهٔ موردمطالعه ۴۲ روز نبود داده وجود داشت. تفکیک مکانی این داده‌ها یک کیلومتر و تفکیک زمانی دو مشاهده در روز است. در گام بعد با استفاده از توابعی داده‌ها از سطح دو (swath data) به سطح سه (grid data) تبدیل و مقدار آب بارش‌پذیر بر روی شبکه‌ای با سیستم تصویر سینوسی به ابعاد ۲۷۰۰×۱۸۰۰ و تفکیک مکانی یک کیلومتر و تفکیک زمانی روزانه میان‌یابی شد. یاخته‌های بیرون از مرز ایران از این آرایه حذف شد و آرایه‌ای به ابعاد ۱۸۸۴۰۸۰×۵۴۵۹ به‌دست آمد که سطرها نمایندهٔ مکان (یاخته‌ها) و ستون‌ها نمایندهٔ زمان (روزها) بود. در گام بعد و بر پایهٔ این آرایه توزیع فراوانی آبِ بارش‌پذیر در بازه‌های یک میلی‌متری از صفر تا ۱۹٫۹ میلی‌متر برای تک‌تک یاخته‌ها محاسبه شد و آرایه‌ای به ابعاد ۱۸۸۴۰۸۰×۲۰۰ به‌دست آمد که سطرها نمایندهٔ مکان و ستون‌ها نمایندهٔ طبقات آب بارش‌پذیر در بازه‌های یک میلی‌متری‌اند. سپس، به کمک تحلیل مؤلفه‌های اصلی الگوهای توزیع فراوانی آب بارش‌پذیر در ایران شناسایی و تأثیر عواملی همچون ارتفاع از سطح دریا و دوری و نزدیکی به دریا بر این الگوها تحلیل شد.

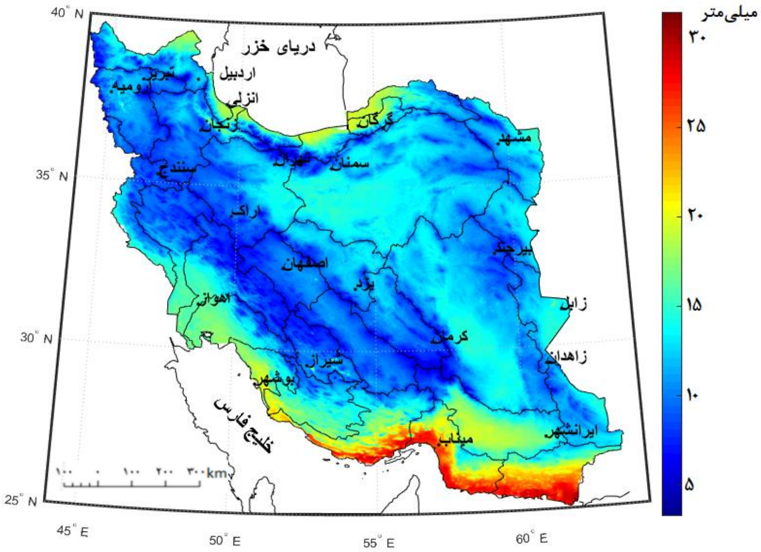
نتایج و بحث

بررسی میانگین بلندمدت آب بارش‌پذیر در ایران

ایران سرزمین بسیار ناهمواری است؛ به‌طوری‌که این ناهمواری تغییرپذیری شدیدی در عناصر آب و هوایی مناطق مختلف ایجاد کرده است. ازجملهٔ این عناصر می‌توان به رطوبت جو اشاره کرد که خود تحت تأثیر عوامل متعددی در

1. https://search.earthdata.nasa.gov/search
2. National Aeronautics and Space Administration

زمان و مکان دستخوش تغییر می‌شود. ویژگی‌های ذاتی آب بارش‌پذیر از یک سو و تنوع عوامل محلی همچون ناهمواری در ایران به توزیع نایکنواخت آب بارش‌پذیر در جو ایران منجر شده است. شکل ۱ چگونگی توزیع مکانی آب بارش‌پذیر را به‌نمایش می‌گذارد. با اندکی دقت در این شکل، نقش ارتفاعات و فاصله از دریا در چگونگی توزیع مکانی آب بارش‌پذیر آشکار می‌شود. در مناطق ساحلی فاصله از دریا به ایفای نقش می‌پردازد و آن‌سوتر به‌آرامی اثر دریا بر مقدار آب بارش‌پذیر کاهش می‌یابد و ارتفاع از تراز دریا نقش‌آفرینی می‌کند؛ ضمن اینکه نقش مهم سامانه‌های همدیدِ ورودی به کشور را در تغذیهٔ رطوبت جو ایران نباید از نظر دور داشت.



شکل ۱. میانگین بلندمدت آبِ بارش‌پذیر حاصل از ماهوارهٔ آکوا

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، میانگین آب بارش‌پذیر ایران حدود ۱۲ میلی‌متر است. میانگین بلندمدت آب بارش‌پذیر ایران در سواحل دریای عمان ۳۱ میلی‌متر (بیشینه) و بر روی دماوند ۳ میلی‌متر (کمینه) است. واکاوی‌ها بر روی آرایهٔ توزیع فراوانی آب بارش‌پذیر نشان داد تقریباً همیشه مقدار آبِ بارش‌پذیر در ارتفاعات از ۵ میلی‌متر و در قلل دماوند، علم‌کوه، سهند، سبلان، ارتفاعات زاگرس میانی (زردکوه، اشترانکوه، دنا)، ارتفاعات جنوب کرمان (تفتان)، و شیرکوه یزد از ۳ میلی‌متر کمتر است.

به علت پایین‌بودن دما، گنجایش رطوبتی پایین جو و دمای شبنم بسیار پایین از یک سو و کم‌ضخامتی جو (عساکره و دوستکامیان، ۱۳۹۵: ۱۹۵)، از سوی دیگر، در این نواحی نمی‌توان انتظار آبِ بارش‌پذیر بالای ۵ میلی‌متر را داشت. با کاهش ارتفاع، آب بارش‌پذیر نیز به‌تدریج افزایش می‌یابد. بخش اعظمی از مناطق پست ایران مرکزی، دامنه‌های شرقی و غربی زاگرس با مقدار آب بارش‌پذیر برابر با میانگین کشور (۱۲ میلی‌متر) از سایر مناطق تفکیک می‌شوند. با نزدیک‌شدن به سواحل مقدار آبِ بارش‌پذیر طبق انتظار افزایش می‌یابد؛ اما این افزایش در کرانه‌های شمال و جنوب دارای تفاوت‌هایی است که تحت تأثیر عواملی همچون فرارفت رطوبت، آرایش ناهمواری‌ها، نسیم دریا- خشکی قرار دارند. همان‌طورکه در شکل ۱ ملاحظه می‌شود، در کرانه‌های جنوبی، به دلیل هموارتربودن نسبت به کرانه‌های شمالی، نفوذ رطوبت به کشور در فاصلهٔ دورتری از ساحل اتفاق می‌افتد؛ به‌طوری‌که رطوبت دریا از طریق تنگه‌های منطقهٔ کهنوج وارد چالهٔ جازموریان می‌شود و این منطقه را از لحاظ رطوبتی از نواحی پیرامون خود متمایز می‌سازد.

سواحل خلیج‌فارس و دریای خزر از نظر مقدار رطوبت جو تقریباً در شرایط یکسان قرار دارند. رطوبت دریای خزر از

طریق تنگهٔ منجیل وارد درهٔ طارم می‌شود. پراکنش مکانی رطوبت در نواحی غربی، میانی، و شرقیِ سواحل خلیج‌فارس الگوی مشابهی ندارد؛ این تفاوت ناشی از عواملی همچون حاکمیت نسیم دریا- خشکی در نواحی شرقی بوشهر و وجود خورها و خلیج‌های کوچک در این محدوده است که باعث افزایش رطوبت جو این نواحی نسبت به محیط اطرافشان می‌شود. مقدار رطوبت در سواحل دریای عمان تفاوت آشکاری با آب بارش‌پذیر سواحل خلیج‌فارس دارد. این تفاوت می‌تواند ناشی از رفتار دمایی این دو منطقه و نقش سامانهٔ موسمی در جنوب شرقِ ایران باشد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۶۳)؛ ضمن اینکه آب بارش‌پذیر سنجندهٔ مودیس در مکان‌هایی همچون نزدیک سواحل، که دما و رطوبت بالایی دارد، بیش‌برآوردی دارد (گورباز و جین، ۲۰۱۷: ۵۱۷۵).

بررسی الگوهای توزیع فراوانی آب بارش‌پذیر

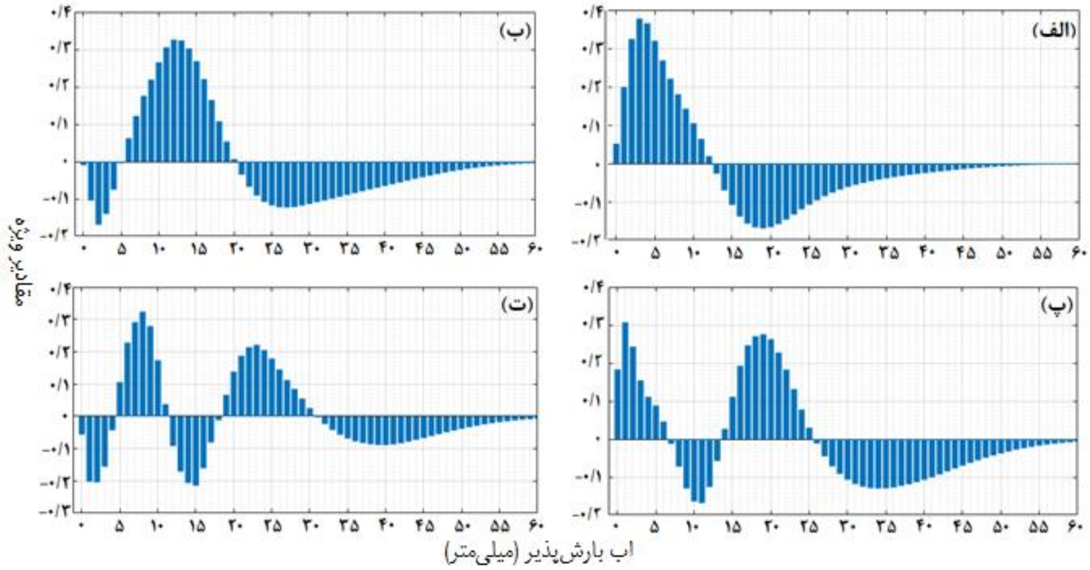
پس از تشریح الگوی مکانی میانگین بلندمدت آب بارش‌پذیر در کشور و به‌منظور شناسایی الگوهای توزیع فراوانی آب بارش‌پذیر در ایران، تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی آرایهٔ فراوانی آبِ بارش‌پذیر اجرا شد. از میان مؤلفه‌های اصلیِ ایجادشده چهار مؤلفهٔ اول ۹۵/۵ درصد پراش کل را تبیین کردند.

در مؤلفهٔ اول، که به‌تنهایی ۷۳ درصد پراش را به خود اختصاص داد، کشور به دو پهنهٔ جدا از هم تفکیک شده است. همان‌طورکه در شکل‌های ۲ الف و ۳ الف دیده می‌شود، پهنهٔ اول منطبق بر مناطق مرتفع و فراوانی آبِ بارش‌پذیر آن صفر تا ۱۲ میلی‌متر است. پُرارتفاع‌ترین نقاط آبِ بارش‌پذیر بیش از ۳ میلی‌متر نداشته‌اند. عساکره و دوستکامیان (۱۳۹۳: ۸۵) عوامل محلی به‌خصوص ارتفاعات و دوری و نزدیک به دریاها و بعضاً عرض جغرافیایی را از عوامل اصلی در تنوع مکانی آب قابل بارش در ایران‌زمین دانسته‌اند؛ به‌طوری‌که کمترین مقدار آب بارش‌پذیر به‌صورت نواری در امتداد کوه‌های زاگرس مشاهده می‌شود. بخار آب جو در رویه بیشترین مقدار را دارد و با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد (رِتان، ۱۹۶۳: ۷۷۶)؛ یعنی تقریباً نیمی از کل آب جو در ارتفاع کمتر از ۱/۵ کیلومتر و کمتر از ۵ درصد آن در وردسپهر بالایی (بالاتر از ۵ کیلومتری) و کمتر از ۱ درصد آن در پوشن‌سپهر (بالاتر از ۱۲ کیلومتری) قرار دارد (سیدل، ۲۰۰۲: ۷۵۰)؛ همچنین به دلیل تجمع بیشتر هواویزها تا ارتفاع دوکیلومتری جو از سویی و تجمع بخار آب در این ارتفاع، از سویی دیگر، پراکندگی تابش به‌وسیلهٔ هواویزها در جذب بخار آب تا این ارتفاع مؤثر است (مباشری و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۱۵).

پهنهٔ دوم با مقادیر ویژهٔ منفی منطبق بر مناطق کم‌ارتفاع کشور است. مناطق پست سواحل شمال و جنوب، جلگهٔ خوزستان، دشت لوت، چالهٔ جازموریان و کویر مرکزی در این پهنه قرار دارند. بیشینهٔ فراوانی آبِ بارش‌پذیر در کم‌ارتفاع‌ترین نقاط ۱۹ میلی‌متر است. می‌توان گفت آب بارش‌پذیر ۱۲ میلی‌متر، که میانگین رطوبت جو در کشور نیز هست، مرز میان این دو پهنه است؛ به عبارتی، مناطق کوهستانی آب بارش‌پذیر کمتر و مناطق کم‌ارتفاع آب بارش‌پذیر بالاتر از میانگین کشور دارند. نتایج حاصل از این مؤلفه نشان داد ارتفاع از سطح دریا مهم‌ترین عامل در چگونگی توزیع آب بارش‌پذیر در کشور به‌شمار می‌رود.

در مؤلفهٔ دوم که ۱۶ درصد از پراش کل را در طول دورهٔ آماری تبیین می‌کند، ایران به سه پهنه تفکیک شده است (شکل‌های ۲ ب و ۳ ب). ملاحظه می‌شود قلل مرتفعی همچون دماوند، سهند، سبلان، علم‌کوه، زردکوه، شیرکوه، و تفتان به‌عنوان پهنه‌ای جدا از سایر مناطقِ مرتفع درنظر گرفته شده است. علت جدایی این پهنه از پهنهٔ مناطق مرتفع پایین‌بودن دمای هوا و دمای شبنم و ضخامت کمِ ستون هوا در این مناطق است؛ نتایجی که پیش از این عساکره و دوستکامیان (۱۳۹۵: ۱۹۵)

نیز به آن دست یافتند. بیشینۀ فراوانی آبِ بارش‌پذیر این مناطق ۲ میلی‌متر است. پهنۀ دوم منطبق بر مناطق مرتفع و پست داخلی است. فراوانی آبِ بارش‌پذیر این پهنه بین ۶ تا ۲۰ میلی‌متر و بیشینۀ فراوانی ۱۲ میلی‌متر است. پهنۀ سوم پس‌کرانه‌های خلیج‌فارس و دریای عمان، سواحل دریای خزر، و بخش‌های شمالی استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی و غربی، بخش‌های شرقی خلیج‌فارس، و سواحل دریای عمان با آبِ بارش‌پذیر بالای ۲۱ میلی‌متر و بیشینۀ فراوانی ۲۷ میلی‌متر را دربر می‌گیرد.

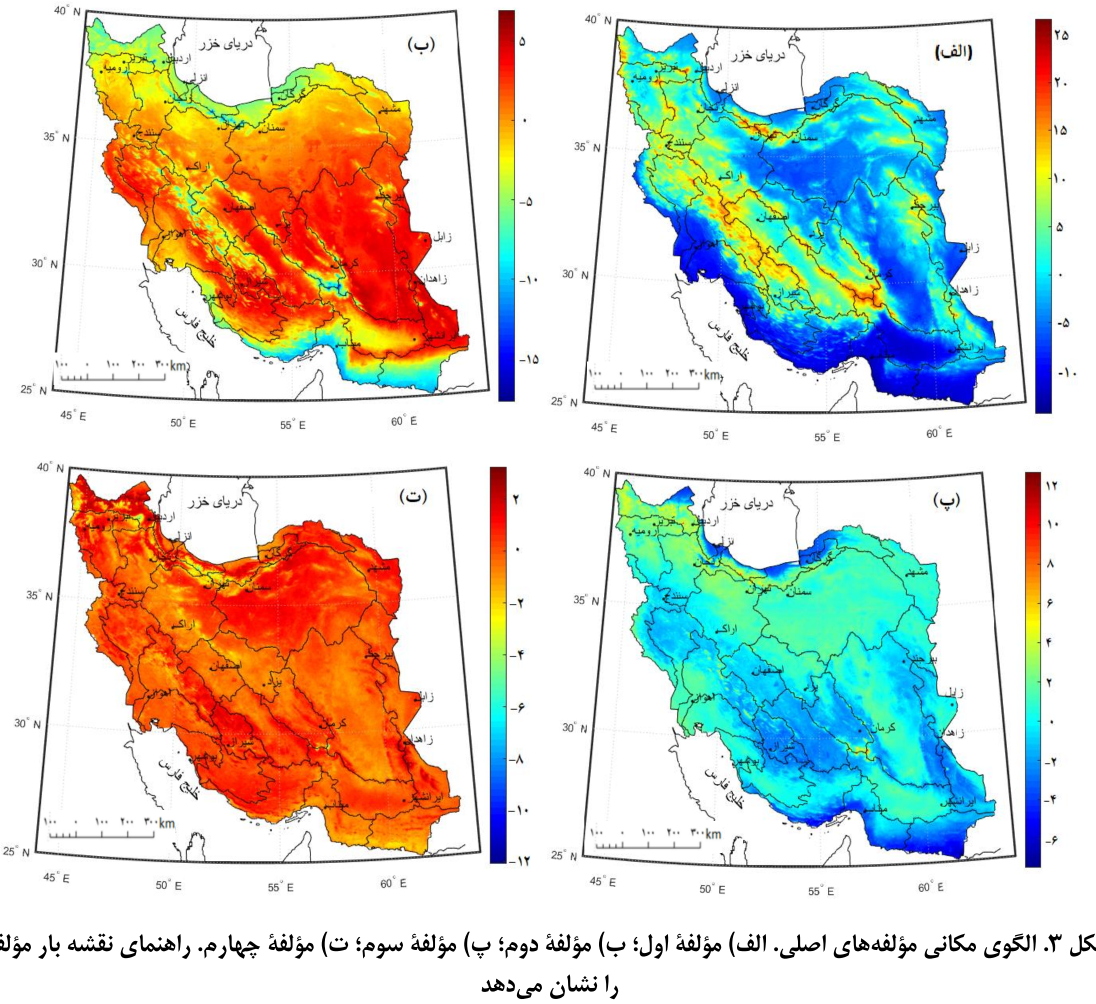


شکل ۲. نمودار مقادیر ویژۀ هر یک از مؤلفه‌ها. محور افقی مقدار آب بارش‌پذیر به میلی‌متر و محور عمودی مقادیر ویژه‌اند

در نواحی شمال غربی کشور، به دلیل شار و انتقال رطوبت از سوی دریای سیاه و خزر، شار همگرایی رطوبت بالاست (دوستکامیان، ۱۳۹۷: ۱۴۵)؛ بر همین اساس، عامل فرارفت رطوبت در افزایش رطوبت جو این مناطق نقش اساسی دارد. با فاصله‌گرفتن از کرانه‌های شمالی و جنوبی از وقوع فراوانی‌های بیشینۀ آب بارش‌پذیر کاسته می‌شود. اگرچه این کاهش در کرانه‌های دریای خزر به دلیل نزدیکی رشته‌کوه‌های البرز به سواحل و آرایش ناهمواری‌ها با شیب بیشتری نسبت به کرانه‌های جنوبی اتفاق می‌افتد، رطوبت این دریاها از طریق تنگه‌ها توانسته است به درون سرزمین نفوذ کند و اقلیم این مناطق را نسبت به محیط اطرافشان دستخوش تغییر کند. به‌عنوان مثال، رطوبت دریای خزر، به‌ویژه در ماه‌های گرم سال، که اختلاف فشار بین دریای خزر و بخش‌های جنوبی البرز و فلات مرکزی چندان بالا نیست، از طریق گذرگاه منجیل وارد درۀ طارم می‌شود و موجب افزایش رطوبت جو این منطقه می‌شود؛ اما در ماه‌های سرد سال، به‌دلیل شیو شدید فشار بین دریای خزر و بخش‌های داخلی فلات ایران، در گذرگاه منجیل جبهه‌ای محلی شکل گرفته و مانعِ ورود رطوبت دریای خزر به منطقۀ طارم شده و در نتیجه آب بارش‌پذیر منطقۀ طارم کمتر از ماه‌های گرم سال است. رطوبت دریای عمان و خلیج‌فارس نیز در بعضی از بخش‌ها از طریق تنگه‌ها یا وزش نسیم دریا به خشکی در سواحل شرقی خلیج‌فارس به بخش‌های داخلی نفوذ کرده است. وجود خورها و خلیج‌های کوچک در سواحل غربی خلیج‌فارس نیز هسته‌های بیشینۀ آب بارش‌پذیر را در این مناطق به‌وجود آورده‌اند.

در مؤلفۀ دوم، از سویی، شرایط دمایی و ارتفاع در تفکیک آب بارش‌پذیر بلندی‌ها از سایر مناطق مرتفع و از سوی دیگر نزدیکی به منابع عظیم رطوبت در کرانه‌های شمال و جنوب کشور و نیز دمای بالاتر کرانه‌های جنوبی و فرارفت رطوبت نقش اصلی را در تفاوت‌های مکانی رطوبت جو بازی می‌کند.

مؤلفهٔ سوم ۵ درصد از تغییرات آبِ بارش‌پذیر را توجیه می‌کند. همان‌طورکه در شکل‌های ۲ (پ) و ۳ (پ) مشاهده می‌شود، مناطق مرتفع و کم‌ارتفاع داخلی که در مؤلفهٔ پیشین در یک پهنه قرار داشتند از هم جدا شده‌اند؛ این جدایی ناشی از اختلاف ارتفاع این دو پهنه از یک سو و دوری از منابع رطوبت کرانه‌ها از سوی دیگر است. پهنهٔ مرتفع با فراوانی آبِ بارش‌پذیر ۷ تا ۱۳ میلی‌متر متعلق به ارتفاعات زاگرس و ارتفاعات شرق کشور است که بیشترین فراوانی مشاهده‌شده در این پهنه ۱۱ میلی‌متر است. پهنهٔ کم‌ارتفاع با فراوانی آبِ بارش‌پذیر ۱۴ تا ۲۵ میلی‌متر و بیشینهٔ فراوانی ۱۹ میلی‌متر، شمال‌غرب، البرز میانی، کویر مرکزی، جلگهٔ خوزستان، و شمال شرق کشور را دربر می‌گیرد. کرانه‌های شمالی و جنوبی آب بارش‌پذیر بیش از ۲۵ میلی‌متر و بیشینهٔ فراوانی ۳۴ میلی‌متر را تجربه می‌کنند. در این ناحیه از کشور به دلیل نزدیکی به منابع عظیم رطوبت، از یک سو، وزش نسیم دریا- خشکی و تزریق رطوبت سامانه‌های همدیدی همچون موسمی هند در سواحل جنوب، به‌ویژه سواحل دریای عمان، بیشینهٔ آب بارش‌پذیر را به خود اختصاص می‌دهند.



شکل ۳. الگوی مکانی مؤلفه‌های اصلی. الف) مؤلفهٔ اول؛ ب) مؤلفهٔ دوم؛ پ) مؤلفهٔ سوم؛ ت) مؤلفهٔ چهارم. راهنمای نقشه بار مؤلفه را نشان می‌دهد

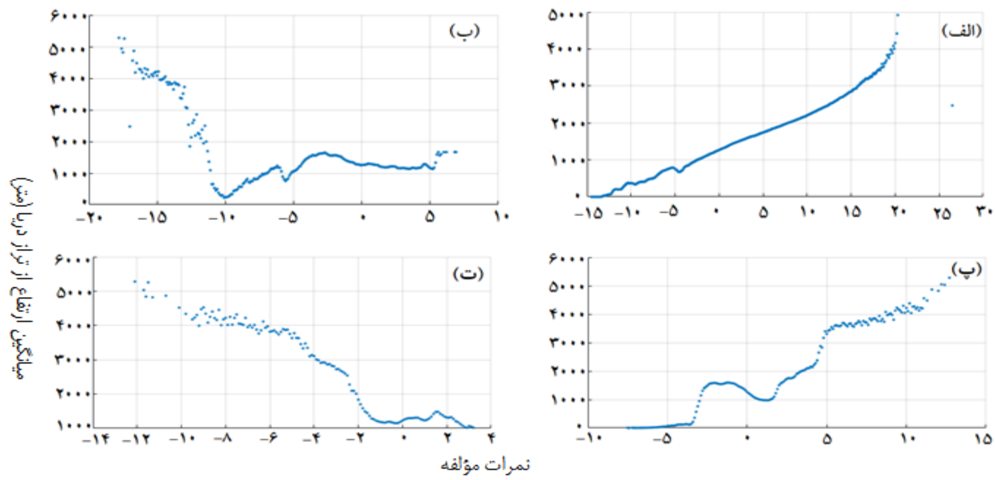
از آنجا که مؤلفهٔ چهارم فقط ۱ درصد از پراش کل را تبیین می‌کند، الگوی مکانی مشخصی نمی‌توان برای آن تعیین کرد. همان‌طورکه در شکل‌های ۲ (ت) و ۳ (ت) ملاحظه می‌شود، تنها پهنه‌ای که قابل تفکیک از سایر پهنه‌هاست منطبق بر قلل کوهستان‌ها با فراوانی آبِ بارش‌پذیر صفر تا ۴ میلی‌متر و بیشینهٔ فراوانی ۲ میلی‌متر است. فلاح قالهری و

همکاران (۱۳۹۴: ۶۴۸) پیش از این در تحلیل فضایی پراکنش رطوبت در ایران به نقش عوامل محلی، به‌ویژه پیکربندی ناهمواری‌ها، اشاره کردند. بررسی‌های ما نیز نشان داد الگوهای رطوبتی بیشترین تأثیر را از عواملی همچون ارتفاع و فاصله از پهنه‌های آب می‌پذیرد؛ ضمن اینکه نقش بسیار مهم عوامل بیرونی (سامانه‌های همدیدی) را در تزریق رطوبت به جو ایران نباید از نظر دور داشت.

رابطهٔ الگوهای توزیع فراوانی آب بارش‌پذیر با ارتفاع از تراز دریا

همان‌طورکه پیش‌تر بیان شد، عامل ارتفاع و فاصله از دریا نقش تعیین‌کننده‌ای در مقدار و وردش‌های مکانی آب بارش‌پذیر دارند. ازاین‌رو، رابطهٔ این عوامل با الگوهای حاکم بر توزیع فراوانی آب بارش‌پذیر در کشور بررسی شد. شکل ۴ (الف) رابطهٔ مؤلفهٔ اول و میانگین ارتفاع را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود ارتفاع ۱۲۶۷ متر مرز میان دو پهنه یکی منطبق بر مناطق کم‌ارتفاع با آبِ بارش‌پذیر بالاتر و دیگری منطبق بر مناطق با ارتفاع بیشتر از ۱۲۶۷ متر و آبِ بارش‌پذیر پایین‌تر است؛ به بیانی دیگر، نقش ارتفاع بر توزیع فراوانی آب بارش‌پذیر کاملاً بارز است. در شکل ۴ (ب) دو الگوی بلندی‌ها و کرانه‌ای قابل مشاهده است (مؤلفهٔ دوم). دوستکامیان و همکاران (۱۳۹۷: ۱۵۰) در پژوهشی به نقش همگرایی شار رطوبت در تغذیهٔ رطوبتی سامانه‌های باران‌زای بهاره اشاره کرده بودند. این بررسی نیز نشان داد در کرانه‌ها عامل ارتفاع و فرارفت رطوبت و با دورشدن از کرانه‌ها و افزایش تدریجی ارتفاع عامل ارتفاع تفاوت‌های مکانی زیادی در پراکنش رطوبت ایجاد می‌کنند. در شکل ۴ (پ)، که رابطهٔ مؤلفهٔ سوم با میانگین ارتفاع نشان داده شده است، نقش ارتفاع در تفاوت‌های مکانی رطوبت جو رخ‌نمود دارد. از ارتفاع ۴ متر تا ۱۲۶۰ متر ایران به دو پهنهٔ پست و نسبتاً مرتفع تفکیک شده است. از ارتفاع ۱۲۲۲ تا ارتفاع ۵۲۷۹ متر نیز دو پهنهٔ دیگر قابل تفکیک است؛ یک پهنه تا ارتفاع ۳۳۰۰ متر که مناطق شمال‌غرب، البرز میانی، کویر مرکزی، جلگهٔ خوزستان، و شمال‌شرق کشور را دربر می‌گیرد و پهنهٔ دیگر نیز مربوط به قلل کوهستان‌هاست.

پیوند میان مؤلفهٔ چهارم و میانگین ارتفاع در شکل ۴ (ت) نمایش داده شده است. همان‌طورکه پیش‌تر بیان شد، برای عامل چهارم، که ۱ درصد تغییرات آب بارش‌پذیر را در ایران توجیه می‌کند، نمی‌توان الگوی مشخصی برای آن تعیین کرد. با وجود این، همچنان بلندی‌ها با بالاترین ارزش ویژهٔ منفی نسبت به سایر مناطق در پهنه‌ای مشخص جای گرفته‌اند؛ ضمن اینکه ارتفاعات کمتر از ۱۰۰۰ متر در پهنه‌بندی‌ها قرار ندارند.



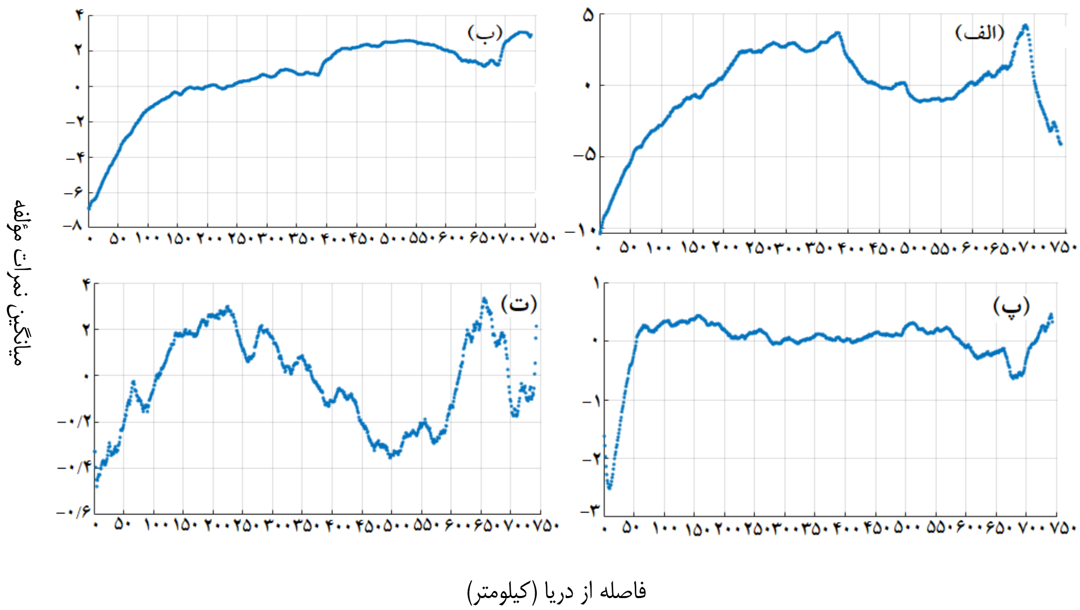
شکل ۴. رابطهٔ ارتفاع از تراز دریا و مؤلفه‌های اصلی. الف) مؤلفهٔ اول؛ ب) مؤلفهٔ دوم؛ پ) مؤلفهٔ سوم؛ ت) مؤلفهٔ چهارم. محور افقی نمرات مؤلفه و محور عمودی میانگین ارتفاع از تراز دریا به متر

رابطهٔ الگوهای توزیع فراوانی آب بارش‌پذیر با فاصله از دریا

در بررسی رابطهٔ میان فاصله از دریا و الگوهای توزیع فراوانی آب بارش‌پذیر اثر دوری و نزدیکی به دریا در الگوی توزیع فراوانی به‌خوبی دیده می‌شود. این واقعیت در مؤلفهٔ اول و دوم آشکارتر است. تا فاصلهٔ تقریباً ۲۵۰ کیلومتری در مؤلفهٔ اول و ۱۵۰ کیلومتری در مؤلفهٔ دوم، همان‌طور که انتظار می‌رود، به‌تدریج از مقدار آب بارش‌پذیر کاسته می‌شود. از این فاصله به بعد، الگوی مکانی آب بارش‌پذیر بیش از آنکه تحت تأثیر فاصله از دریا و نسیم دریا و خشکی باشد، متأثر از ارتفاع از تراز دریا و ریخت ناهمواری‌هاست (شکل‌های ۵ الف و ۵ ب).

در مؤلفهٔ سوم (شکل ۵ پ)، همان‌طورکه ملاحظه می‌شود، تا فاصلهٔ تقریباً ۱۰ کیلومتری از سواحل افت نسبتاً شدیدی در مقدار ویژه (وقوع بیشینهٔ رطوبت جو) دیده می‌شود. وقوع مقدار بیشینه در این فاصله به دلیل تشکیل کمربند همگرایی رطوبت در فاصلهٔ تقریباً ۱۱ و ۴ کیلومتری به‌ترتیب در سواحل جنوب و شمال است. سپس، از فاصلهٔ ۱۱ تا ۶۶ کیلومتری کاهش شدید نمرهٔ مؤلفه (وقوع کمینهٔ رطوبت جو) به دلیل وجود رشته‌کوه‌های البرز در فاصلهٔ کمتری از دریای خزر دیده می‌شود. وقوع کمینهٔ رطوبت جو در سواحل جنوب به دلیل دوربودن از ناهمواری‌ها تقریباً در فاصلهٔ ۲۵۰ کیلومتری اتفاق می‌افتد؛ در نتیجهٔ این ویژگی اثر دریا و فرارفت رطوبت بر آب بارش‌پذیر در سواحل جنوبی بیشتر از سواحل شمالی است.

در مؤلفهٔ چهارم (شکل ۵ ت) با فاصله‌گرفتن از دریا افت‌وخیزهای بیشتری در مقدار ویژهٔ مؤلفه رخ می‌نماید. با فاصله‌گرفتن از دریا و در برخورد با نواحی پست و مرتفع، نمرات مؤلفه‌ها نیز تغییر می‌کند و بدین ترتیب مقدار آبِ بارش‌پذیر نیز کاهش یا افزایش می‌یابد.



شکل ۵. رابطهٔ میانگین مؤلفه‌های اصلی و فاصله از دریا. الف) مؤلفهٔ اول؛ ب) مؤلفهٔ دوم؛ پ) مؤلفهٔ سوم؛ ت) مؤلفهٔ چهارم. محور افقی فاصله از دریا به کیلومتر و محور عمودی میانگین نمرات مؤلفه

نتیجه‌گیری

اقلیم‌شناسان از دیرباز به مطالعهٔ آب بارش‌پذیر به دلیل نقش کلیدی آن در بسیاری از فرایندهای جوی پرداخته‌اند. رطوبت جوِ ایران به دلیل تأثیرپذیری از شرایط متنوع اقلیمی، که خود نتیجهٔ تفاوت در عوامل محلی همچون ناهمواری، فاصله از پهنه‌های آب و فرارفت رطوبت و نسیم خشکی-دریاست، دارای تغییرپذیری زمانی و مکانی زیادی است. بر این اساس، شناسایی الگوهای توزیع فراوانی این متغیر می‌تواند نقش بسزایی در کاهش اثرهای ناشی از خشک‌سالی و سیل داشته باشد. اختلاف کمینه و بیشینهٔ فراوانی آب بارش‌پذیر در کشور حدود ۲۷ میلی‌متر است؛ به‌طوری‌که آبِ بارش‌پذیر مناطق با ارتفاع بالاتر از ۳۰۰۰ متر کمتر از ۶ میلی‌متر و سواحل دریای عمان در ۶۰ درصد اوقات بالای ۲۶ میلی‌متر است. این واقعیت نشان از آن دارد که با وجود دو منبع بزرگ رطوبت در شمال و جنوب کشور جو ایران از فقر رطوبتی رنج می‌برد. وجود ناهمواری‌ها و آرایش آن‌ها مانعِ ورود رطوبت دریاهای شمالی و جنوبی به داخل سرزمین ایران شده است. همچنان که در این بررسی نشان داده شد، در بخش‌های داخلی ارتفاع و در کرانه‌ها شرایط دمایی و فرارفت رطوبت بیشترین نقش را در توزیع فراوانی رطوبت جو ایران بازی می‌کنند. نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه‌ها نیز نشان داد در درجهٔ اول عامل ارتفاع و بعد فاصله از پهنه‌های آب مهم‌ترین نقش را در الگوهای توزیع رطوبت جو در ایران دارند. اندرکنش این عوامل با یکدیگر، که از جمله عوامل ثابت در طول قرن‌ها بوده و هستند، به‌گونه‌ای است که نمی‌تواند شرایط رطوبتی جو کنونی کشور را تغییر چندانی دهد. وقوع سیلاب در نتیجهٔ ورود سامانه‌های همدیدی با رطوبت بالا در سال‌های اخیر نشان از نقش مهم وزش رطوبت در تغییر شرایط رطوبتی جو ایران در زمان و مکان و به دنبال آن تأثیر در تراز آب کشور دارد. از آنجا که بخار آب جو وردش‌پذیر بسیار بالایی هم در مکان هم در زمان دارد، ضروری است جهت مطالعهٔ این متغیر کلیدیِ جو از داده‌هایی با تفکیک مکانی و زمانی بالاتری بهره برد تا نتایج حاصل از آن از دقت بیشتری برخوردار باشد؛ به همین دلیل، نتایج حاصل از این پژوهش، که از داده‌های دورسنجی ماهوارهٔ آکوا با تفکیک مکانی ۱ کیلومتر و تفکیک زمانی دو مشاهده در روز بهره برده است، نسبت به سایر پژوهش‌ها، که عمدتاً از داده‌های شبکه‌ای با تفکیک مکانی پایین به مطالعهٔ پیرامون آب بارش‌پذیر در کشور پرداخته‌اند، دقت بالاتری دارد.

منابع

احمدی، م.؛ داداشی رودباری، ع.؛ احمدی، ح. و علی‌بخشی، ز. (۱۳۹۷). واکاوی ساختار دمای ایران مبتنی بر برون‌داد پایگاه دادهٔ مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی (ECMWF) نسخهٔ ERA Interim، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۰(۲): ۳۷۲-۳۵۳.

دارند، م. (۱۳۹۴). واکاوی وردایی زمانی- مکانی رطوبت جوی ایران‌زمین طی بازهٔ زمانی ۱۹۷۹-۲۰۱۳، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۷(۲): ۲۱۳-۲۳۹.

دوستکامیان، م.؛ جلالی، م. و طاهریان، ا.م. (۱۳۹۷). واکاوی شار همگرایی رطوبت و آب قابل بارش جو بارش‌های بهارهٔ ایران، جغرافیا و مخاطرات محیطی،۷(۲۵): ۱۳۱-۱۵۲.

عساکره، ح. و بیات، ع. (۱۳۹۲). تحلیل مؤلفه‌های اصلی مشخصات بارش سالانهٔ شهر زنجان، جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۴۵: ۱۲۱-۱۴۲.

عساکره، ح. و دوستکامیان، م. (۱۳۹۳). تغییرات زمانی و مکانی آب قابل بارش در جو ایران، تحقیقات منابع آب ایران، ۱۰(۱): ۷۲-۸۶.

عساکره، ح. و دوستکامیان، م. (۱۳۹۵). ناحیه‌بندی اقلیمی آب قابل بارش جو ایران‌زمین، نشریهٔ جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۵۸: ۱۸۱-۲۰۲.

عساکره، ح.؛ دوستکامیان، م. و قائمی، ه. (۱۳۹۳). تحلیل تغییرات ناهنجاری‌ها و چرخه‌های آبِ بارش‌پذیر جو ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۶(۴): ۴۳۵-۴۴۴.

فلاح قالهری، غ. ع.؛ اسدی، م. و داداشی رودباری، ع. (۱۳۹۴). تحلیل فضایی پراکنش رطوبت در ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۷(۴): ۶۳۷-۶۵۰.

مباشری، م.؛ پورباقر کردی، س.م؛ فرجزاده اصل، م. و صادقی نائینی، ع. (۱۳۸۹). برآورد آبِ بارش‌پذیر کلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس و داده‌های رادیوساند ناحیهٔ تهران، فصل‌نامهٔ مدرس علوم انسانی، ۱۴(۱): ۱۰۷-۱۲۶.

مسعودیان، س. ا. (۱۳۹۰). آب‌وهوای ایران، مشهد: انتشارات شریعهٔ توس.

موسوی بایگی، م. و اشرف، ب. (۱۳۸۹). بررسی و مطالعهٔ نمایهٔ قائم هوای منجر به بارندگی‌های مخرب تابستانه (مطالعهٔ موردی: مشهد)، آب‌وخاک، ۲۴(۵): ۱۰۳۶-۱۰۴۸.

یارنال، ب. (۱۳۸۵). اقلیم‌شناسی همدید و کاربردهای آن در مطالعات محیطی، ترجمهٔ س. ا. مسعودیان، اصفهان: انتشارات دانشگاه اصفهان.

Acheampong, A. A.; Fosu, C.; Amekudzi, L. K. and Kaas, E. (2015). Comparison of precipitable water over Ghana using GPS signals and reanalysis products, Journal of Geodetic Science, 5: 163-170.

Ahmadi, M.; Dadashi Roudbari, A.; Ahmadi, H. and Alibakhshi, Z. (2018). Analysis of Iran Temperature Structure Based on ECMWF, ERA Interim Version, Physical Geography Research Quarterly,50(2): 353-372 (in Persian).

Asakereh, H. and Bayat, A. (2013). The Analysis of the Trend and the Cycles of Annual Precipitation Characteristics of Zanjan, Journal of Geography and Planning, 17(45): 121-142 (in Persian).

Asakereh, H. and Doostkamian, M. (2014). Tempo-Spatial Changes of Perceptible Water in the Atmosphere of Iran, Iran-Water Resources Research, 10(1): 72-86 (in Persian).

Asakereh, H. and Doostkamian, M. (2017). Climate Regionalization of Atmospheric Perceptible Water in Iran, Journal of Geography and Planning, 20(58): 181-202 (in Persian).

Asakereh, H.; Doostkamian, M. and Qaemi, H. (2014). Analysis of anomalies and perceptible water cycles in Iran atmosphere, Physical Geography Research Quarterly, 46(4): 435-444 (in Persian).

Barman, P.; Jade, S.; Kumar, A. and Jamir, W. (2017). Inter annual, spatial, seasonal, and diurnal variability of precipitable water vapour over northeast India using GPS time series, International journal of remote sensing, 38: 391-411.

Callahan, J. A. (2014). Estimation of precipitable water over the Amazon Basin using GOES imagery, *Doctoral dissertation*, University of Delaware.

Darand, M. (2015). Analysis of Spatio-Temporal Variation of Atmospheric Humidity in Iran during 1979-2013, Physical Geography Research Quarterly, 47(2): 213-239 (in Persian).

Doustkamian, M.; Jalali, M. and Taherian, A.M. (2018). Analysis of Moisture Flux Convergence and Precipitation Spring Precipitable Water in Iran, Geography and Environmental Hazard, 7(25): 131-152 (in Persian).

Fallah Ghalhari, Gh.; Asadi, M. and Dadashi Roudbari, A.A. (2016). Spatial Analysis of Humidity Propagation over Iran, Physical Geography Research Quarterly, 47(4): 637-650 (in Persian).

Gao, B. C. and Kaufman, Y. J. (2003). Water vapor retrievals using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) near-infrared channels, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 108(D13).

Gourbaz, G. and Jin, S. (2017). Long-time variations of precipitable water vapour estimated from GPS, MODIS and radiosonde observations in Turkey, International Journal of Climatology, 37: 5170-5180.

Kaufman, Y. J. and Gao, B. C. (1992). Remote sensing of water vapor in the near IR from EOS/MODIS, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 30: 871-884.

Kern, A.; Bartholy, J.; Borbás, É. E.; Barcza, Z.; Pongrácz, R. and Ferencz, C. (2008). Estimation of vertically integrated water vapor in Hungary using MODIS imagery, Advances in Space Research, 41: 1933-1945.

Li, X.; Zhang, L.; Cao, X.; Quan, J.; Wang, T.; Liang, J. and Shi, J. (2016). Retrieval of precipitable water vapor using MFRSR and comparison with other multisensors over the semi-arid area of northwest China, Atmospheric research, 172: 83-94.

Lins, H. F. (1997). Regional streamflow regimes and hydroclimatology of the United States, Water Resources Research, 33: 1655-1667.

Liu, H.; Tang, S.; Hu, J.l Zhang, S. and Deng, X. (2017). An improved physical split-window algorithm for precipitable water vapor retrieval exploiting the water vapor channel observations, Remote sensing of environment, 194: 366-378.

Liu, Z.; Wong, M. S.; Nichol, J. and Chan, P. W. (2013). A multi-sensor study of water vapour from radiosonde, MODIS and AERONET: a case study of Hong Kong, International Journal of Climatology, 33: 109-120.

Maghrabi, A. and Al Dajani, H. M. (2013). Estimation of precipitable water vapour using vapour pressure and air temperature in an arid region in central Saudi Arabia, *Journal* of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences, 14: 1-8.

Malmusi, S. and Boccolari, M. (2010). Upper and middle precipitable water calculated from METEOSAT-8/-9 tropospheric humidity and NCEP/NCAR temperatures, Atmospheric Research, 95: 8-18.

Means, J.D. (2011). GPS precipitable water measurements used in the analysis of California and Nevada climate, University of california, san diego.

Mobasheri, M.R.; Poorbager kordi, S.M.; Farajzadeh Asl, M.; Sadeghi Naeini, A. (2010). Total Precipitable Water (TPW) Assessment Using MODIS Images Radiosonde Data (Case study: Tehran District), The Journal of Spatial Planning, 14(1): 107-126 (in Persian).

Mousavi Baygi, M. and Ashraf, B. (2010). Investigation and study of vertical weather profile leading to destructive summer rainfall (case study: Mashhad), Journal of water and soil, 24(5): 1036-1048 (in Persian).

Prasad, A. K. and Singh, R. P. (2009). Validation of MODIS Terra, AIRS, NCEP/DOE AMIP-II Reanalysis-2, and AERONET Sun photometer derived integrated precipitable water vapor using ground-based GPS receivers over India, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 114(D5).

Reitan, C. H. (1963). Surface dew point and water vapor aloft, Journal of Applied Meteorology, 2(6): 776-779.

Seidel, D. J. (2002). Water vapor: Distribution and trends, Encyclopedia of Global Environmental Change, 750-752.

Trenberth, K. E.; Fasullo, J. and Smith, L. (2005). Trends and variability in column-integrated atmospheric water vapor, Climate dynamics, 24: 741-758.

Wang, H.; Wei, M.; Li, G.; Zhou, S. and Zeng, Q. (2013). Analysis of precipitable water vapor from GPS measurements in Chengdu region: Distribution and evolution characteristics in autumn, Advances in Space Research, 52: 656-667.

Wong, M. S.; Jin, X.; Liu, Z.; Nichol, J. and Chan, P. W. (2015). Multi-sensors study of precipitable water vapour over mainland China, International Journal of Climatology, 35: 3146-3159.

Yarnal, B. (2006). Translated by: Masoodian, S.A. Synoptic Climatology: An Environmental Studies, *Isfahan University Press*.